

Eine methodische Untersuchung am Beispiel der Mittel- und Niederrheinlande. – Forschn. z. dt. Landeskunde, 68, Remagen.

RADKE, J., 1978/79:

Landschaftsökologische Vegetationsgliederung Mitteleuropas. Eine systematische Grundlage für die Landschaftspflege. – MSK. Inst. f. Landschaftspflege und Botanik, Techn. Univ. München-Weihenstephan, Freising.

RICHTER, H., 1967:

Naturräumliche Ordnung. – Wiss. Abh. Geogr. Ges. DDR, 5, S. 129–160.

RICHTER, H., 1968:

Naturräumliche Strukturmodelle. – Peterm. Geogr. Mitt., 112, S. 9–15.

SCHMIDT, R., 1978:

Geographische Aspekte der mittelmaßstäbigen landwirtschaftlichen Standortkartierung. – Hattesch. Jb. f. Geowiss., 3, S. 15–32, Gotha-Leipzig.

SCHREIBER, K. F., 1969:

Landschaftsökologische und standortkundliche Untersuchungen im nördlichen Waadtland als Grundlage für die Orts- und Regionalplanung. – Arb. d. Univ. Hohenheim (Landw. Hochschule), 45, 166 S., 30 Abb., 10 Tabl., 5 Karten, Stuttgart.

STÄBLEIN, G. Hrsg., 1978:

Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK-Schwerpunktprogramm I. – Berliner Geographische Abhandlungen, 30, 35 Abb., 17 Tab., 2 Beil., 90 S., Berlin.

SYMADER, W., 1980:

Zur Problematik landschaftsökologischer Raumgliederungen. – Methodological problems of classification and regionalisation of geocological spatial units. – Landschaft + Stadt, 12, S. 81–89, Stuttgart.

TROLL, C., 1939:

Luftbildplan und ökologische Bodenforschung. – B. d. Ges. f. Erdkunde Berlin, S. 241–298, Berlin.

TROLL, C., 1968:

Geo-ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas. – Colloquium Geographicum, 9, Bonn.

TROLL, C., 1970:

Landschaftsökologie (Geocology) und Biogeocoenologie. Eine terminologische Studie. – Rev. Roumaine de Géologie, Géophysique et Géographie, Ser. de Géographie, 14, S. 9–18, Bukarest.

TROLL, C., 1971:

Landscape Ecology (Geocology) and Biogeocoenology A Terminological Study. – Geoforum, 8, S. 43–46.

UHLIG, H., 1967:

Die naturräumliche Gliederung – Methoden, Erfahrungen, Anwendungen und ihr Stand in der Bundesrepublik Deutschland. – Wiss. Abh. d. Geogr. Ges. d. DDR, 5, S. 161–215, Leipzig.

WELLER, F., MÜLLER, S., SCHIEFER, H. & VOGEL-SANG, W., 1975:

Ökologische Standorteignungskarte des ehemaligen Landkreises Aalen. – Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt, Baden-Württemberg, 55 S., Stuttgart.

WÖHLKE, W., 1969:

Die Kulturlandschaft als Funktion von Veränderlichen. Überlegungen zur dynamischen Betrachtung in der Kulturgeographie. – Geogr. Rundschau, 21, S. 298–308.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Dr. Joseph H. Ziegler  
Bayerisches Geologisches Landesamt  
Prinzregentenstraße 28  
8000 München 22

## **Geopotential: Untergrund**

Helmut Vidal

Die Geowissenschaften erforschen die Prozesse, die den Formenschatz an der Erdoberfläche, das heutige Relief, prägen, die Strukturen im Untergrund im Laufe der Erdgeschichte geschaffen haben und die die Wanderungen, Anreicherungen und Verarmungen der mineralischen Rohstoffe in der Erdkruste steuern.

Geowissenschaftliche Forschung ermöglicht die Analyse der gegenwärtigen Situation und die Prognose künftiger Engpässe auf unserem Raumschiff Erde, sie kann Grenzen des Wachstums definieren und zusammen mit anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen und den technischen Wissenschaften vorsorgende Therapien zur rechtzeitigen Abwendung von Mangelsituationen und anderen Gefahren für die Menschheit entwickeln.

Im Gesamtkomplex *Ökologie* fallen den Geowissenschaften ganz spezifische wichtige Aufgaben zu. Da sich die Geowissenschaften im besonderen mit der festen Erdkruste befassen, die den abiotischen, d.h. leblosen Rahmen für das Leben des Menschen und aller anderen Lebewesen bildet, ist es sinnvoll und notwendig, innerhalb des bisher stark biologisch verstandenen Begriffes »Ökologie« die Bereiche als

»Geoökologie« besonders abzugrenzen, die sich mit den Beziehungen zwischen dem Menschen und seiner geologischen Umwelt im weitesten Sinne beschäftigen. Die Geoökologie muß sich mit den Problemen auseinandersetzen, die sich einerseits der Mensch beim »Gebrauch«, nicht selten beim »Mißbrauch« seiner Lebensbasis Erde schafft, andererseits mit den Gegenreaktionen der Erde auf diesen »Ge- bzw. Mißbrauch«. Die Geoökologie bedient sich sinnvollerweise der angewandten Geowissenschaften (Ingenieur-, Hydro-, Lagerstättengeologie, Angewandte Geophysik, Bodenkunde, Geomorphologie) und ihrer Erkenntnisse und Arbeitsmethoden.

Neben diesen mehr präventiven Aufgaben der Geowissenschaften innerhalb der Geoökologie leisten diese auch einen entscheidenden Beitrag zur *Daseinsvorsorge*. Sie erforschen die für den Menschen wichtigen »Geopotentiale«, d.h. die natürlichen geogenen Rohstoffe und Güter an der Erdoberfläche und im tieferen Untergrund, ihre Natur, ihre räumliche Verteilung und ihre verfügbare Menge. Die Geowissenschaften sind damit auch ein unentbehrlicher Helfer für die zukunftsorientierte Planung. Sie vermögen die Gebiete mit

lebenswichtigen Geopotentialen aufzuzeigen, um sie für eine spätere Nutzung möglichst freizuhalten. Sie können und müssen den Planer, um ihm eine Güterabwägung zu erleichtern, aber auch auf die bei einer Nutzung zu erwartenden geökologischen Auswirkungen aufmerksam machen und sollten aufzeigen, wie und ob sich diese auf ein trag- und verantwortbares Minimum beschränken lassen.

Zu den lebenswichtigen Geopotentialen gehören vor allem die für die Existenz und Wohlfahrt des Menschen wichtigen Vorräte an Energie- und sonstigen mineralischen Rohstoffen einschließlich des Grundwassers. Sie sollen hier nicht besprochen werden. Ein als solches vielleicht noch zu wenig bekanntes *Geopotential* stellen der *Untergrund* und insbesondere geologische Strukturen in ihm dar. In solchen können entweder Stoffe – auch Energie –, die man nur zwischenlagern will, umweltfreundlich, wenn auch nicht ganz risikolos, *gespeichert* oder solche, deren man sich für immer entledigen will, *endgelagert* werden. Man kann dem Untergrund auch natürliche thermische Energie entnehmen.

Der Untergrund läßt sich beim derzeitigen Stand der Geowissenschaften nutzen:

- zur Gewinnung fester, flüssiger und gasförmiger mineralischer Rohstoffe
- zur Entnahme, zur Anreicherung und Erneuerung von Grundwasser
- zur Speicherung von Abfallwärme
- zur Speicherung von flüssigen und gasförmigen Energierohstoffen
- zur Ablagerung von festen, flüssigen, ggf. auch gasförmigen Schadstoffen
- zur Entnahme natürlicher geothermischer und solarer Energie.

Um das Geopotential »Untergrund« optimal, insbesondere auch unter Berücksichtigung geökologischer Gesichtspunkte nutzen zu können, ist es nötig, den Untergrund zu erkunden, hinsichtlich seiner Strukturen zu klassifizieren und in geeigneter Form darzustellen. Das Strukturmuster des Untergrundes in der Bundesrepublik Deutschland ist durch die geologische und geophysikalische Landesaufnahme in seinen groben Zügen weitgehend bekannt. Relativ gut kennt man den Untergrund in den Gebieten, die seit einigen Jahrzehnten auf ihre Erschließbarkeit für Erdöl- und Erdgas geologisch-geophysikalisch und durch zahlreiche Bohrungen exploriert werden. Das sind die tiefen Sedimentbecken in Nord- und Süddeutschland, in Bayern das Molassebecken. Man kennt hier den strukturellen Aufbau, d.h. die Lagerungsverhältnisse der Gesteinsabfolgen, deren hydrostatische, lithostatische und hydromechanische sowie geochemische Verhältnisse und kann diese auch größenordnungsmäßig abschätzen. Damit lassen sich innerhalb dieser Gebiete brauchbare Eignungs- und Nutzungskriterien erarbeiten, die für eine geökologische Risikoabschätzung der Auswirkungen auf das Umfeld der Tiefenstruktur bis hinauf an die Erdoberfläche je nach Nutzungsart die nötige Entscheidungsbasis liefern.

#### Natürliche Speicher- und Ablagerungsräume im Untergrund

Je nach Art des zu speichernden oder abzulagernden Mediums, insbes. hinsichtlich seiner Umweltgefährlichkeit, sind an die geologischen Verhältnisse des Untergrundes unterschiedliche Forderungen zu stellen. Grundvoraussetzung ist, daß für den unterzubringenden Stoff der erforderliche Hohlraum in Form von kommunizierenden Poren, Klüften oder/und Karsthohlräumen von Natur aus im Gestein vorhanden ist (im wesentlichen in Sedimentgesteinen) oder vom Menschen künstlich geschaffen werden kann (im wesentlichen in Salz-, Ton- und Intrusivgesteinen sowie Metamorphiten). Eine weitere Voraussetzung ist das Vorhandensein einer

hinsichtlich Speicherkapazität, allseitiger Abdichtung, Tiefenlage und noch anderer Kriterien geeigneten Struktur. Man kann davon ausgehen, daß in den hier interessierenden Tiefenbereichen in der Regel alle Gesteinshohlräume mit Wasser erfüllt sind, das von dem endzulagernden oder zu speichernden Medium verdrängt werden muß. Man spricht in diesem Fall von einem sog. Aquifer-System. Gelegentlich können auch wasserfreie sog. »trockene« Speicherstrukturen dafür in Frage kommen. Salze sind praktisch dicht und immer wasserfrei.

Natürliche Aquifer-Systeme sind z.B. die Erdöl- und Erdgaslagerstätten, in denen uns die Natur das vorexerziert, was heute der Mensch nachvollzieht. Sie enthalten seit Jahrmillionen in den Gesteinsporen Erdöl und/oder Erdgas, das durch Anbohren zu Tage gefördert werden kann und dann durch nachdrängendes Wasser ersetzt wird. Umgekehrt kann in solche weitgehend leergeförderte Erdgasfelder (für Erdölagerstätten wäre dies theoretisch auch möglich, praktisch aber nicht realisierbar) Erdgas eingepreßt und gespeichert werden, das über weitverzweigte Gaspipeline-Systeme von oft mehrere tausend Kilometer entfernten Erdgaslagerstätten (z.B. Holland, Nordsee, Algerien, Sibirien) angeliefert wird. Nur so lassen sich die riesigen Gasmengen, die insbesondere im Winter benötigt werden, wirtschaftlich bevorraten, lassen sich politische und technische Versorgungsrisiken minimieren und preisgünstige Lieferverträge abschließen. Die Untertage-Speicherung hat erst die Voraussetzung geschaffen, den umweltfreundlichen Primärenergieträger Erdgas im heutigen Umfang anzubieten. Die Bundesrepublik Deutschland deckte damit 1979 rund 16 % ihres Gesamtenergiebedarfs. Allein in Bayern können z.Zt. in zwei (weitere folgen) ehemaligen Erdgaslagerstätten, die zu sog. Porenraum-UT-Gasspeichern (UT = unter Tage) umfunktioniert worden sind, ca. 1,6 Mrd. Kubikmeter Erdgas gespeichert werden. Um die gleiche Menge in oberirdischen Gaskesseln mit einem Fassungsvermögen von je 200.000 m<sup>3</sup> (wie z.B. der in München) unterzubringen, wären 8.000 solcher die Landschaft erheblich störender und mit einem gewissen Sicherheitsrisiko (Kriegs-, Terrorerwirkungen) behafteter Gaskessel nötig. Die für den Betrieb von UT-Speichern benötigten technischen Übertage-Einrichtungen fallen dagegen kaum ins Gewicht.

Wo sich keine ehemaligen Erdgaslagerstätten für eine UT-Gasspeicherung anbieten, können auch geeignete gasfreie natürliche Aquifer-Strukturen mit entsprechendem Speicherraum zur UT-Gasspeicherung mit Erfolg genutzt werden. Zu nennen wären hier z.B. der künstlich geschaffene Porenraum-UT-Gasspeicher Eschenfelden in Nordbayern mit einem Fassungsvermögen von 300 Mio Kubikmeter (entsprechend 1.500 Münchner Gaskesseln) in ca. 600 m Tiefe oder der Speicher Pliening östlich von München in ca. 270 m Tiefe mit 70 Mio m<sup>3</sup> (entsprechend 350 Münchner Gaskesseln) Fassungsvermögen.

Derartige Aquifer-Systeme lassen sich neben der Speicherung von Gas auch zur Ablagerung (Tiefversenkung) von flüssigen Schadstoffen (z.B. von rel. ungefährlichen Siedlungsabwässern über Dünnsäuren bis hin zu schädlichen Chemie- und radioaktiven Abwässern (Tritium) aus der Kernbrennstoffaufbereitung) verwenden. Dabei muß vor allen Dingen bei den letzteren gewährleistet sein, daß sie dem Biozyklus langfristig bzw. für immer entzogen werden (s. unten).

Als Beispiele für derartige Tiefversenkungen sind in der Bundesrepublik Deutschland zu nennen: Das Versenken von Kali-Endlaugen (im wesentlichen Chloride) als Abfallprodukt der Kali-Industrie in den Plattendolomit des Zechsteins in der Hessischen Senke. Seit 1925 sind ca. 600 Mio m<sup>3</sup> in Tiefen von 325 bis 525 m versenkt worden. Das noch verfügbare, bis etwa zum Jahre 2.000 reichende Speichervolumen beträgt

ca. 500 Mio m<sup>3</sup>; ferner die Rückversenkung von Lagerstättenwässern (meist Salzwasser mit Kohlenwasserstoffverbindungen), die bei der Erdöl- und Erdgasförderung anfallen und meist gleich an Ort und Stelle über eine Versenkbohrung entweder in den Förderhorizont- oder einen anderen geeigneten Aquifer eingeleitet werden. Dünnsäuren eignen sich besonders zur Versenkung in Karsthohlräume von Carbonatgesteinen. So werden z.B. in Moosburg bei Landshut seit 1967 durch 2 Versenkbohrungen in den in 1.100 m Tiefe liegenden 300 m mächtigen Malmkarst stündlich 70–180 m<sup>3</sup>, bisher ca. 14 Mio m<sup>3</sup>, Dünnsäure versenkt und durch Neutralisation unschädlich gemacht.

Die Versenkung von flüssigen Schadstoffen setzt natürlich eine besonders sorgfältige geowissenschaftliche Vorerkundung und Kenntnis einer geeigneten Aquifer-Tiefenstruktur hinsichtlich ihrer Ausdehnung, Umschließung mit abdichtenden Gesteinsschichten, ihrer Druckverhältnisse, Austrittsmöglichkeiten über Leckstellen in der Abdichtung oder Störungen sowie der chemischen Reaktion der Schadflüssigkeit mit dem Speichergestein voraus.

Oberflächennahe Strukturen, z.B. übertiefte, mit Schottern oder Grobsanden gefüllte Talzüge, lassen sich bei entsprechendem Nutzporenraum und mit geeigneten Techniken (chemische oder sonstige Dichtungsschürzen, Spundwände) zur Speicherung (Grundwasseranreicherung) von Trink- und Brauchwasser nützen. So können z.B. in einem wasserfreien Gesteinskörper mit 20 % nutzbarem Porenraum und einer Grundfläche von 1000 x 500 m bei einer Anhebung des Grundwasserspiegels um 5 m 0,5 Mio m<sup>3</sup> Wasser gespeichert werden. Im Vergleich dazu besitzen die 3 unterirdisch angelegten Ausgleichsbehälter der Münchner Wasserversorgung ein Fassungsvermögen von 0,3 Mio m<sup>3</sup>

Größere, für die Trinkwassererschließung nicht nutzbare Grundwasservorkommen lassen sich bei gegebener hydrogeologischer Eignung zur *Speicherung von Abfallwärme* nutzen. Diese fällt in großer Menge z.B. in allen Wärmekraftwerken an, muß bisher im wesentlichen ungenutzt über Kühltürme an die Atmosphäre oder an Flüsse abgegeben werden und trägt zu einer erheblichen Umweltbelastung bei. Die Abfallwärme läßt sich besonders im Sommer über Wärmetauschersysteme zur Aufheizung des Grundwassers heranziehen, im Winter im umgekehrten Kreislauf diesem wieder entziehen. Daß damit gewisse geoökologische Probleme verbunden sein können, sei nicht verschwiegen (s. vorletztes Kapitel).

### **Künstlich geschaffene unterirdische Hohlräume**

In geeigneten geologischen Strukturen und Körpern im Untergrund lassen sich auch künstliche Hohlräume zur Speicherung bzw. Endlagerung von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen anlegen. Voraussetzung dafür ist ein weitgehend standfestes und undurchlässiges Gebirge. Hinsichtlich ihrer derzeitigen Bedeutung für Speicherung und Tief Lagerung sind die Salzstöcke, auch Salz-Diapire genannt, an erster Stelle zu erwähnen. Es handelt sich dabei hinsichtlich ihres Tiefganges (2000 m und mehr) und ihrer horizontalen Ausdehnung um riesige Salzanreicherungen. Die ursprünglich flachliegenden Salzlager sind durch orogen-tektonische Vorgänge mobilisiert (Halotektonik) und infolge der Plastizität des Salzes meist pilzförmig in die überlagernden Gesteinsschichten eingepreßt worden (Diapirismus).

In diesen Salzstöcken sind durch die bergmännische Gewinnung von Stein- und Kalisalz zahlreiche und z.T. riesige (bis 30.000 m<sup>3</sup>) Hohlräume entstanden und entstehen noch. Diese bieten sich zur Endlagerung an und sind dafür besonders geeignet. Salz ist plastisch und trotzdem über lange Zeiten hinweg standfest, es besitzt eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit; Salzstöcke sind in ihrem Innern vom Wasserkreislauf

abgeschlossen. Sie eignen sich daher gut für die Endlagerung von besonders umweltgefährlichen Feststoffen, wie umweltschädlichen Abfallprodukten der chemischen Industrie und von Kernbrennstoff- und Reaktorabfällen, die radioaktiv und z.T. hochgiftig sind. Da die schädliche Strahlung von einigen dieser Nuklearabfälle mehrere Hunderttausendjahre wirksam bleibt, müssen diese praktisch für immer dem Biozyklus, d.h. insbesondere dem Wasserkreislauf, entzogen werden. Nach Meinung der meisten sachverständigen Geowissenschaftler sind bei sachgemäßer Konditionierung und Lagerung der radioaktiven Abfallprodukte geowissenschaftlich sorgfältig ausgewählte Salzstöcke noch immer am besten für deren Endlagerung geeignet.

In Salzstöcken werden neuerdings große Hohlräume nicht nur bergmännisch, sondern durch Auslaugung des Salzes mittels über Tiefbohrungen zugeführtes Süßwasser erzeugt. Diese gelaugten (gesolten) Kavernen haben einen birnenförmigen Hohlraum bis zu 300 m Höhe bei einem Durchmesser bis zu 60 m und ein Fassungsvermögen zwischen 200 bis 500.000 m<sup>3</sup>. In einem großen Salzstock können zahlreiche dieser Kavernen neben- und übereinander angelegt werden. Gewisse Umweltprobleme bringt die schadlose Beseitigung der bei dieser Technik anfallenden großen Mengen konzentrierten Salzwassers (Sole).

Es können deshalb nur Salzstöcke dafür herangezogen werden, die in unmittelbarer Küstennähe oder am Unterlauf großer Flüsse liegen, so daß die anfallende Sole über relativ kurze Rohrleitungen entweder direkt ins Meer oder in die in Küstennähe Brackwasser führenden und meist auch anderweitig stark verschmutzten Flüsse eingeleitet werden kann.

Derartige durch Laugung künstlich geschaffene Hohlräume in Salzstöcken (in der Bundesrepublik nur in Norddeutschland vorhanden) lassen sich vielfältig verwenden, z.B. zur Endlagerung schwach- und ggf. auch mittelaktiven Atommülls. Eine besondere Bedeutung kommt ihnen als Speicher für flüssige (Rohöl, Benzin), verflüssigte (Erdgas, Äthylen, Propylen, Butan) und gasförmige (Erdgas; komprimierte Luft als Sauerstoffträger zum Betrieb von Gasturbinen) Primärenergieträger zu. Große Mengen von Gasen und Flüssigkeiten können wirtschaftlich, umweltfreundlich und unter militärischen Sicherheitsgesichtspunkten nur unterirdisch gespeichert werden.

Kavernenspeicher benötigen an der Erdoberfläche nur die Hälfte der Fläche oberirdischer Tanklager mit nur wenigen sichtbaren technischen Einrichtungen. Um z.B. die Bundes-Notstandsreserve von 40 Mio m<sup>3</sup> Rohöl einzulagern, wären 400 riesige oberirdische Schwimmdachtanks mit je 100.000 m<sup>3</sup> Inhalt nötig, während 80 Kavernen à 500.000 m<sup>3</sup> ausreichen. In bereits weitgehend fertigen 26 Kavernen werden 1.275 Mio m<sup>3</sup> Erdgas eingelagert. Um die gleiche Menge über Tage zu speichern, wären 6.375 Gaskessel von der Größe des Gaskessels in München und eine Grundfläche von mindestens 300 km<sup>2</sup> nötig.

Es ist unbestritten, daß ohne die große Zahl von UT-Speichern die Energieversorgung und Daseinsvorsorge in der Bundesrepublik Deutschland sich keineswegs in dem bisherigen Maße, und obendrein sehr umweltfreundlich, hätte verwirklichen lassen.

In Gebieten, in denen es keine Salzstöcke mit diesen idealen Speichermöglichkeiten gibt (Süddeutschland und die meisten Länder der Erde) mußten andere Möglichkeiten für die UT-Lagerung bzw. UT-Speicherung gesucht werden. Es bieten sich dafür besonders Intrusiv-Massengesteine (Granite und ähnl. Gesteine), aber auch alle anderen Gesteinsfolgen mit ausreichender Mächtigkeit und Standfestigkeit für die bergmännische Anlage von Hohlräumen der erforderlichen Größe an. Ferner sind möglichst geringe Durchlässigkeit und aus-

reichende Tiefenlage unter einem Grundwasserspiegel sowie die Nähe zu einem Vorfluter mit entsprechender Wasserführung Voraussetzung. Die Speicherverfahren für flüssige und gasförmige Primärenergieträger in bergmännisch angelegten Felskavernen beruhen im wesentlichen auf einem ausgewogenen Verhalten zwischen dem Grundwasser (Kluft-Porenwasser) und dem Speichergut. Nur durch das allseitig um den Kavernenraum anstehende Grundwasser wird das spezifisch leichtere (Voraussetzung) Speichergut an einem Eindringen in das Gestein und damit am Verlassen des unterirdischen Speicherraumes gehindert; Künstliche Wasserhaltung mit Kläranlage und Vorflut sind erforderlich. Solche UT-Kavernenspeicher sind in Skandinavien, Frankreich und in der Schweiz in Betrieb oder in der Planung.

Feste schädliche und radioaktive Abfälle lassen sich mit einiger Sicherheit auch in Hohlräumen lagern, die in besonders qualifizierten Gesteinskörpern, z.B. Tonsteine, Granite u.ä. bergmännisch angelegt worden sind.

### **Nutzung der im Untergrund gespeicherten geo- und solarthermischen Energie**

Abschließend soll noch kurz die Nutzung der von Natur aus im Untergrund vorhandenen alternativen Energiequellen behandelt werden. In Frage kommt - sieht man von der Nutzung der an relativ wenigen Orten unserer Erde nutzbaren vulkanischen Energie (z.B. Toskana, Island, Neuseeland, USA) ab - die Nutzung der überall sich anbietenden geothermischen oder im oberflächennahen Grundwasser oder Boden gespeicherten solaren Energie. Generell nimmt mit zunehmender Tiefe die Temperatur je 100 m um rund 3 ° C zu. Einzelne Gebiete unserer Erde zeigen ein anomales geothermisches Verhalten mit größerer Temperaturzunahme. Solche geothermische Anomalien gibt es in der Bundesrepublik Deutschland in Urach u. Landau/Pfalz; im Pariser Becken; in Ungarn und anderswo. Über Tiefbohrungen kann bei entsprechendem Poren- und/oder Kluftvolumen das in der Tiefe mehr oder weniger stark aufgeheizte (50-80 ° C und höher) Grundwasser zu Tage gefördert und für Heizzwecke genutzt werden. Das abgekühlte Wasser kann, wenn es salzfrei bzw. -arm ist, in einen Vorfluter geleitet werden. Andernfalls muß es in den gleichen oder einen anderen geeigneten Aquifer rückversenkt werden, um die Umwelt nicht zu belasten. Natürlich lassen sich dem Untergrund nicht beliebige Wärmemengen entnehmen, ohne daß er abkühlt. Eingehende geowissenschaftliche Untersuchungen und Bilanzierungen des Wasser- und Wärmeverrates im Untergrund sind erforderlich.

Mit *Wärmepumpen* (Kühlschrankprinzip) läßt sich die in der Umwelt vorhandene und von der Sonne eingestrahlte Wärmeenergie nutzen. Dabei wird Wärmeenergie niedriger Temperatur unter Verwendung von hochwertiger Energie (Gas, Diesel, Elektrizität) auf ein höheres Temperaturniveau angehoben. Eine Wärmepumpe kann bis zu etwa der vierfachen eingesetzten Energie an Wärmeenergie liefern. Als nutzbare natürliche Wärmeträger kommen Luft, Oberflächenwasser, Grundwasser, Erdreich in Frage. Hier sollen nur die beiden letzteren Wärmeträger behandelt werden.

Bei dem Einsatz von *Grundwasser-Wärmepumpen* wird durch einen Förderbrunnen Grundwasser zutage gefördert und nach einer Abkühlung um etwa 5 ° C über einen Schluckbrunnen wieder in den Untergrund eingeleitet. Beim Einsatz von *Erdreich-Wärmepumpen* wird über ein Wärmetauschersystem (ein 1,5-2 m tief in den Untergrund verlegtes und von einem flüssigen Wärmetransportmedium durchflossenes Rohrsystem) dem Erdreich Wärme entzogen und durch die Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und einem Wärmeverbraucher zugeführt.

Nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten die erst in der Erprobung befindlichen sog. *Erdwärmesonden*. Mittels einer Bohrung wird ein am unteren Ende verschlossenes Stahlrohr ca. 100-150 m tief in den Boden eingebracht. In diesem Rohr befindet sich ein unten offenes Innenrohr gleicher Länge. Durch dieses wird das in der Wärmepumpe abgekühlte flüssige Wärmetransportmedium nach unten geführt und steigt im Außenrohr wieder hoch, wobei es an der Außenwand der Sonde Erdwärme aufnimmt. Diese wird über eine Wärmepumpe in höherwertige Heizenergie umgewandelt.

Geoökologisch unproblematisch, wie sie immer dargestellt wird, ist diese Art der Wärmeengewinnung nicht. Insbesondere dann, wenn auf einer relativ kleinen Fläche mehrere Wärmepumpenanlagen installiert werden. Da die im Sommer auf diese Fläche eingestrahlte und im Erdreich bzw. Grundwasser gespeicherte solare Wärmemenge begrenzt ist, kann auch nur diese dem Untergrund entzogen werden, wobei dieser bzw. das Grundwasser abgekühlt werden. Bei einem zu starken Wärmepumpenbesatz pro Flächeneinheit kann es zu einer erheblichen Unterkühlung der Wärmeträger kommen, was bis zum Kältetod der im Untergrund vorhandenen u. z.B. für die natürliche Grundwasserreinigung so wichtigen sog. »Sandlückenflora und -fauna« (Viren, Bakterien, Pilze usw.) führen kann. Durch die Unterkühlung kann es aber auch zu einer Hemmung bzw. Verzögerung des Pflanzenwachstums an der Erdoberfläche, besonders im Frühjahr, kommen.

### **Zusammenfassung und Ergebnis**

Es wurde versucht, die Bedeutung des Geopotentials »Untergrund«, insbesondere als Speicherraum für lebenswichtige Stoffe einerseits (Wasser, Primärenergieträger) und als Ablagerungsraum für lebensgefährliche Abfälle (schädliche bis hochgiftige chemische und radioaktive Abfallprodukte) andererseits sowie als Wärmespeicher für geothermische und solare Energie für die Daseinsvorsorge des Menschen darzustellen. Auf die der Öffentlichkeit besser bekannte Funktion des Untergrundes als Quelle lebenswichtiger und z.T. lebensnotwendiger mineralischer Rohstoffe wie Erze, Primärenergieträger, Steine und Erden sowie Grundwasser wurde nicht eingegangen.

Die Nutzung des Untergrundes als Speicher- und Endlagerungsraum bietet vielerlei Möglichkeiten für eine umweltfreundliche und sichere Entsorgung wie Versorgung. Diese Untergrundnutzung vermag damit die immer stärker durch technische Einrichtungen beanspruchte natürliche Landschaft zu entlasten und vor weiteren Zugriffen des Menschen zu bewahren.

Den *Geowissenschaftlern* fällt dabei die Aufgabe zu, geeignete Strukturen im Untergrund zu erkunden, diese auf ihre Brauchbarkeit für diesen oder jenen Verwendungszweck zu prüfen, zu klassifizieren und der Öffentlichkeit anzubieten.

Den *Planern* fällt die wichtige und nicht immer leichte Aufgabe zu, das Geopotential (Naturgut) »Untergrund« mit seinen vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten bei einer Güterabwägung gegenüber anderen Nutzungsansprüchen richtig zu gewichten und bei der Raumordnung und Landesplanung entsprechend zu berücksichtigen. Praktisch jede der hier behandelten Nutzungen des Untergrundes setzt gewisse, wenn meist auch die Umwelt kaum oder nicht störende technische Einrichtungen an der Erdoberfläche voraus. Deshalb sollte über potentiellen Untergrundstrukturen das Gelände über ihnen von einer anderweitigen Nutzung freigehalten werden, um eine spätere Nutzung nicht zu erschweren oder unmöglich zu machen.

Jeder größere menschliche Eingriff in die Natur stört das natürliche Ökosystem. Wenn solche Eingriffe unvermeidlich

sind, sollen sie aber auf ein vertretbares Mindestmaß an Störung beschränkt bleiben. Dies gilt auch für Eingriffe in den Untergrund. Es ist wiederum die Aufgabe der Geowissenschaftler, durch sehr sorgfältige Untersuchungen der Öffentlichkeit, den Planern, Technikern und Politikern die Risikoabschätzung zu erleichtern, auf mögliche Gefahren für den Menschen und seine Umwelt aufmerksam zu machen, praktikable Lösungen anzubieten und das verbleibende Restrisiko auf ein Mindestmaß zu beschränken, kalkulierbar und im Notfall beherrschbar zu machen.

Unter diesen Gesichtspunkten ist die Umwelt unter unseren Füßen für den heutigen Menschen und kommende Generationen genauso lebenswichtig und schützenswert wie die Umwelt des Menschen an der Erdoberfläche.

#### **Anschrift des Verfassers:**

Prof. Dr. Helmut Vidal  
Präsident des Bayerischen Geologischen Landesamtes  
Prinzregentenstraße 28  
8000 München 22

## **Das Relief als Geopotential**

Klaus Fischer

### **1. Einführung**

In die Erdkruste mit ihrem regional sehr differenzierten Aufbau sind die Oberflächenformen modelliert. Dabei entwickeln sich enge Beziehungen zwischen diesen Formen und der Beschaffenheit des Untergrundes (Gesteine und deren Lagerungsverhältnisse). Am deutlichsten sind diese Beziehungen in Schichtstufenlandschaften, an Schichtkämmen, Bruchstufen (etwa im oberfränkischen Bruchschollenland) oder Härtlingszügen erkennbar.

Die Gesamtheit der Oberflächenformen oder die Reliefsphäre stellt die Energie-Umsatzfläche schlechthin dar, wo die zugestrahlte Energie die verschiedensten physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge in Gang setzt. Für unsere Betrachtung sind jene Vorgänge von Bedeutung, die die Oberflächenformen schaffen und verändern und damit Glieder des Landschaftshaushaltes sind. Sie laufen in der Regel relativ langsam ab (Ausnahmen sind u.U. Muren, Grundlawinen, Überschotterung oder Zerschneidung im Zusammenhang mit Hochwässern, Verspülung von Boden auf Ackerland, Zer-rachelung). Deshalb wird das Relief als recht stabiler Standortfaktor angesehen, was jedoch nur mit Einschränkung und auch nur kurzzeitig gilt. Die Durchgangsaufschüttung in Flußbetten bzw. Flußarmen, die sich in der nahezu permanenten Veränderung und Verlagerung von Kiesbänken zu erkennen gibt und durch ortsfremdes Material bewiesen werden kann, oder Küstenveränderungen oder Kleinkatastrophen (z.B. Rutschungen) belegen die Instabilität der Oberflächenformen. Durch Massenumlagerungen und -transporte werden landschaftshaushaltliche Veränderungen von teilweise erheblicher Tragweite ausgelöst. Kein Zweifel besteht jedoch darüber, daß das Relief Regelfaktor im Landschaftshaushalt ist, denn es beeinflußt Stoffhaushalt, Wasserhaushalt, Geländeklima und mit ihnen zusammen die Entwicklung des Bodentyps und der Pflanzengesellschaft. Gleichzeitig wird von ihm das Gefüge der naturräumlichen Einheiten und deren Beziehung untereinander bestimmt. Damit wirkt das Relief dominant und ordnend auf die landschaftlichen Ökosysteme in der Ausbildung ihrer Struktur und ihrer Funktion ein.

Von großer Bedeutung im Landschaftshaushalt ist die rezente Morphodynamik. Sie gibt Auskunft über die an der Landformung beteiligten Vorgänge und über die Art und den Umgang dieser Prozesse, d.h. über Vorgänge, die die Reliefentwicklung bedingen. Die aktuellen Vorgänge der Landformung sind Bestandteil des Landschaftshaushaltes; eine Prozeßanalyse ist also wichtiger und notwendiger Bestandteil einer landschaftsökologischen Haushaltsuntersuchung.

Die Bedeutung des Reliefs als Regelfaktor oder anders formuliert, die Determination anderer Geofaktoren durch das Relief wird besonders in Moränenlandschaften, im Mittel- und Hochgebirge deutlich oder, in der Ausbildung von Formenabfolgen, möglicherweise auch durch sogenannte Catenen.

### **2. Das Relief als Regelfaktor**

Die Wirkung des Reliefs als Regelfaktor im Landschaftshaushalt ist überaus vielfältig und kann an dieser Stelle nur exemplarisch und zudem nur in starker Generalisierung aufgezeigt werden.

Die wechselnde Gestalt der Erdoberfläche übt einen beträchtlichen Einfluß auf das Mikro- und Geländeklima aus, so daß in einem reliefierten Gelände ein charakteristisches Hanglagen- oder Expositions-klima zur Ausbildung gelangt. Grundlage ist der unterschiedliche Strahlungsgenuß je nach der Richtung, nach welcher der Hang, bzw. die Hänge exponiert ist oder sind. Davon werden wiederum eine beachtliche Anzahl klimatologischer Parameter, wie Feuchtegehalt und Verdunstungsgröße, Temperaturgang, Ausgleichsströmungen oder Niederschlagsverteilung beeinflußt. Insbesondere Südhänge stehen in den Mittelbreiten unter kräftiger Einstrahlung (Weinbau!). Temperaturunterschiede im Gelände verursachen über Luftdruckdifferenzen Luftströmungen, die tagesperiodisch auftreten. Dies sind die Hang- und Talwinde, die den Landschaftshaushalt ganz wesentlich differenzieren können (z.B. über Abtrocknen, Evapotranspiration, Verwehung). Daneben beeinflußt die Gestaltung des Geländes das Windfeld, d.h. die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen (Täler als Windstraßen). Neben Verwirbelungen hinter Vollformen stellen sich Düseneffekte bei Verengung von Hohlformen oder über Aufragungen ein. Die Hangexposition bestimmt über Windfeld und Böschungsneigung in hohem Maße die Feuchteverhältnisse und die Niederschlagsverteilung. Häufig fällt im Windschatten kleinerer Formen mehr Niederschlag als auf der Windseite und auf einem Steilhang eine andere Menge als auf einem Flachhang.

Außerordentlich eindrucksvoll sind oft die landschaftshaushaltlichen Gegensätze von Sonnen- und Schatthängen in O-W-verlaufenden Tälern. Durch Horizontüberhöhung können diese Unterschiede erheblich verstärkt werden, da Einbußen bei der Strahlungsmenge eintreten.

Konvexe Formen des Geländes sind in der Nacht warm, konkave dagegen kalt. In den tiefsten Teilen des Geländes, auch in breiten Talböden mit geringem Gefälle, kommt es durch Kaltzufluß, durch die veränderte Strahlungsbilanz und wegen des geringeren Luftmassenaustausches zur Ausbildung von Kaltluftseen. Hindernisse quer zur Talrichtung (Straßen- und Einbahndämme) oder auch Talverengungen wirken sich für oberhalb liegende Geländeteile forstverschärfend aus. Hänge über dem flachen Talboden sind oft als sogenannte warme Hangzonen auszugliedern und phänologisch besonders gekennzeichnet.

Auch großklimatisch wirkt sich das Relief aus, was im Hochgebirge besonders deutlich wird, da mit zunehmender Meereshöhe eine rasche Änderung der Bedingungen eintritt. Die direkte Sonnenstrahlung nimmt bekanntlich mit der Höhe zu.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [7\\_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Vidal Helmut

Artikel/Article: [Geopotential: Untergrund 10-14](#)